

房総半島沖における群発地震検出と小規模なスロースリップとの関連の調査
 Detection of earthquake swarms off the Boso Peninsula and investigation of the association with
 small slow slip events

○吉村 嶺・西川友章・西村卓也

○Ryo YOSHIMURA, Tomoaki NISHIKAWA, Takuya NISHIMURA

Earthquake swarm is a series of earthquakes without a clear main shock (e.g., Mogi, 1963), and occurs in various tectonic environments, such as subduction zones and around volcanoes. It is known that aseismic phenomena such as slow slip events (SSEs) are deeply involved in the occurrence of earthquake swarms (e.g., Ozawa et al., 2003). However, the relationship between these aseismic phenomena and seismic activity is still not fully understood. In this study, we detected swarms off the Boso Peninsula in the Sagami Trough subduction zone based on a simple earthquake swarm detection method using the epidemic-type aftershock-sequence (ETAS) model (Ogata, 1988; Okutani & Ide, 2011), which is a statistical model for earthquake activity, and the Akaike Information Criterion (AIC; Akaike, 1974). The detected earthquake swarms were compared with a comprehensive catalog of SSEs, including small-scale SSEs (e.g., Nishimura, 2021).

1. はじめに

群発地震は、明確な本震のない一連の地震活動であり (e.g., Mogi, 1963)、沈み込み帯や火山の周辺など、さまざまなテクトニクス環境で発生する。群発地震活動の発生には、非地震性現象が深く関与していることが知られている。例えば、沈み込み帯では、プレート境界で発生するスロースリップイベント (SSE) が群発地震活動を誘発することがあり (e.g., Ozawa et al., 2003)、内陸地域では、地殻内の流体の上昇に起因する群発地震活動 (e.g., Tsuneishi & Nakamura, 1970) が観測されている。近年、非地震性現象 (特に、SSE をはじめとするスロー地震) に関する研究は大きく進展しており、日本周辺においては、特に沈み込み帯においてスロー地震の網羅的な検出が実施され、その詳細な分布が明らかになりつつある。一方で、それらの大量に検出されたスロー地震とその周辺の地震活動の関係性は未だ十分はわかっていない。群発地震の網羅的検出とその活動の調査は、非地震性現象と地震活動の関係を明らかにする上で重要である。

2. 手法

本研究は、地震活動の標準統計モデルである Epidemic-Type Aftershock-Sequence (ETAS) モデル (Ogata, 1988; Okutani & Ide (2011)) と赤池

情報量規準 (AIC; Akaike, 1974) を用いたシンプルな手法に基づいて群発地震検出を実施した。

ETAS モデル (Ogata, 1988) は、ある時刻 t の地震発生レート $\lambda(t)$ を、定常的な背景地震発生レート (μ) と、大森・宇津の余震則 (e.g., Utsu, 1957) に従う余震発生レート ($\sum_{t_i < t} K \exp\{\alpha(M_i - M_c)\} / (t - t_i + c)^p$) の和で表す。ここで、 t_i と M_i は、 i 番目の地震の発生時刻とマグニチュードである。また、 α は余震発生レートのマグニチュード依存性、 c は地震発生直後の地震発生レートに関係する時定数、 K は余震発生レートの大きさを決める係数、 p は余震発生レートの減衰のべき指数、 M_c は最小マグニチュードである。モデルパラメータは、 μ, α, c, K, p の 5 つである。

本研究では、Okutani & Ide (2011) により群発地震活動を考慮し改良された ETAS モデルを基に、群発地震発生期間における背景地震発生レートの増分を $\mu_1(t)$ として群発地震活動を考慮した新たなモデルを作成した。 $\mu_1(t)$ は、群発地震により増加した地震の個数 (N_{sw}) と正規化されたガウス関数 ($1/(2\pi T_{sws}^2)^{\frac{1}{2}} \exp\{-(t - t_{swp})^2 / (2 T_{sws}^2)\}$) の積で表す。ここで、 t_{swp} は群発地震発生期間中の背景地震発生レートのピーク時刻、 T_{sws} は正規化されたガウス関数の標準偏差であり、 N_{sw} と T_{sws} は新たなパラメータである。また、本研究では、群発地震中の背景地震発生レートのピーク時刻 t_{swp} も

新たなモデルパラメータとし、1日ごとにグリッドサーチを行った。それ以外のモデルパラメータの推定には最尤法を用いた。そして、群発地震を考慮したモデルと、オリジナルの ETAS モデル (Ogata, 1988) の AIC の差 (ΔAIC) が -2 以下になる日付 (t_{swp}) を抽出した。 ΔAIC が -2 以下となる連続した日付のうち、 $t_{swp} - 3T_{sws}$ が最も早い日付を群発地震活動の開始日、 $t_{swp} + 3T_{sws}$ が最も遅い日付を群発地震活動の終了日として群発地震活動期間を定義し、その期間中の地震系列を群発地震系列として検出した。ただし、群発地震活動継続期間に含まれる地震数が 5 つ未満の地震系列は、地震個数が少なすぎるという理由から群発地震系列から除いた。

3. 使用データ

本研究では、数年おきに活発な群発地震を伴って大規模な SSE が発生する相模トラフ沈み込み帯の房総半島沖 (e.g., Fukuda, 2018; Fukuda et al., 2014; Ozawa et al., 2003) を中心とした深さ 0 ~ 50km の領域 (北緯 34.8° から 35.6°、東経 139.9° から 140.9°) において、群発地震検出を実施した。解析期間は 2000 年 1 月 1 日から 2010 年 12 月 31 日の 11 年間とした。この期間は、2002 年 10 月と 2007 年 8 月の SSE に伴う群発地震活動を含む。震源データには気象庁一元化震源カタログを用い、 M_j 2 以上の地震を解析に使用した。

4. 結果・議論

解析の結果、SSE との関係が知られている 2002 年と 2007 年の既知の 2 系列の大規模な群発地震活動に加えて、未報告の群発地震活動が 7 系列検出された。新たに検出された群発地震活動には、相模トラフでの M_w 6 未満の小規模な SSE (Nishimura, 2021; Marill et al., 2024) と時空間的に近接して発生していたものが 4 系列含ま

れており、小規模な SSE がその震源域周辺で地震活動を誘発していたことが示唆された (図 1)。また、残りの 3 系列のうち 1 系列は、時空間的に近接した SSE の報告はないものの、SSE との関係が知られている既知の群発地震と震央分布が類似していた。このため、この群発地震について、房総半島周辺の GNSS データの確認も実施したが、2000 年の三宅島周辺の火山活動による地殻変動の影響が非常に大きく、SSE の発生を確認するのは困難であった。

5. 結論

本研究により、相模トラフ沈み込み帯の房総半島沖において発生する SSE は、 M_w 6 未満の小規模なものであっても群発地震を伴うことがあることが明らかとなった。これは、相模トラフ沈み込み帯におけるスロー地震と地震の関係性に関する新たな重要な知見である。

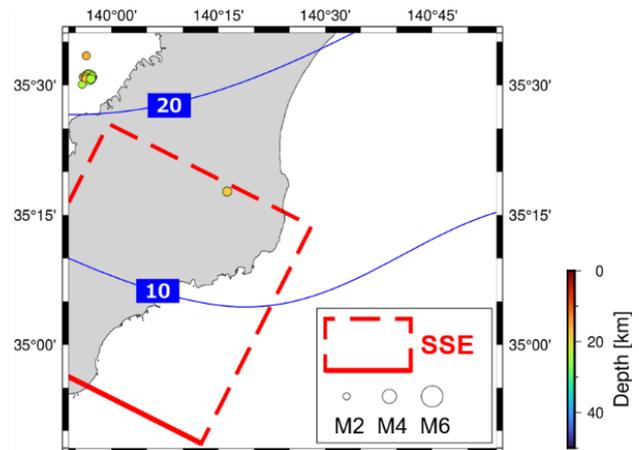


図 1. 新たに検出された 2006 年 7 月の群発地震の震央分布。青線は、フィリピン海プレートの等深線 (Iwasaki et al., 2015)。赤い破線と実線は、Nishimura (2021) で 2006 年 7 月に相模トラフ沿いにおいて検出された SSE の矩形断層モデルであり、実線が浅部側。